

DD 288 732

The invention relates to a personal dosimeter for measuring the biological dose caused in the human body by neutron radiation. It is the goal of the invention to create a robust and reliable dosimeter that can be evaluated under tactical conditions in an apparatus that is preferably easy to operate, wherein the task is to measure the biological dose irrespectively of the energy spectrum of the neutrons. The goal is achieved by a combination dosimeter that consists of both a detector being basically only sensitive to gamma radiation, and a detector being only sensitive to fast neutrons, wherein the fluence sensitivity of the neutron-sensitive detector, defined as a measuring signal per unit of the neutron fluence, increases with the energy in the energy range of the neutrons of 0.01 MeV to 15 MeV at least by a factor 10.



(12) Ausschließungspatent

Erteilt gemäß § 18 Absatz 2  
 Patentgesetz der DDR  
 vom 27.10.1983  
 In Übereinstimmung mit den entsprechenden  
 Festlegungen im Einigungsvertrag

## PATENTSCHRIFT

(11) DD 288 732 A7

5(51) G 01 T 3/00

DEUTSCHES PATENTAMT

(21)	DD G 01 T / 226 321 6	(22)	23.12.80	(45)	11.04.81
------	-----------------------	------	----------	------	----------

(71) siehe (73)  
 (72) Weber, Karl-Helmut, Dr. rer. nat.; Glessing, Reinhart, Dr. rer. nat.; Müller, Peter; Kienert, Manfred, Dipl.-Ing.  
 oec.; Rochelt, Siegfried, Dipl.-Ing., DE  
 (73) Robotron-Meßelektronik „Otto Schön“ Dresden, PSF 211, O - 8012 Dresden, DE  
 (74) siehe (73)

(54)	Neutronen-Personendosimeter
------	-----------------------------

(57) Die Erfindung betrifft ein Personendosimeter zur Messung der durch Neutronenstrahlung im menschlichen Körper hervorgerufenen biologischen Dosis. Ziel der Erfindung ist es, ein robustes und zuverlässiges Dosimeter zu schaffen, das in einem möglichst einfachen Gerät unter taktischen Bedingungen ausgewertet werden kann, wobei die Aufgabe darin besteht, die biologische Dosis unabhängig vom Energiespektrum der Neutronen zu messen. Die Aufgabe wird durch ein Kombinationsdosimeter gelöst, das aus einem im wesentlichen nur für Gammastrahlung empfindlichen und aus einem nur für schnelle Neutronen empfindlichen Detektor besteht, wobei die Fluenzempfindlichkeit des neutronenempfindlichen Detektors, definiert als Meßsignal je Einheit der Neutronenfluenz, im Energiebereich der Neutronen von 0,01 MeV bis 15 MeV mindestens um einen Faktor 10 mit der Energie zunimmt.

## Erfindungsanspruch:

1. Personendosimeter zur Messung der durch Neutronen im menschlichen Körper hervorgerufenen biologischen Dosis zur Erzielung einer geringen Abhängigkeit der Empfindlichkeit von der Neutronenenergie für die Messung der biologischen Neutronendosis im Energiebereich der langsamen, intermediären und schnellen Neutronen, gekennzeichnet dadurch, daß ein Kombinationsdosimeter verwendet wird, das aus einem im wesentlichen nur für Gammastrahlung empfindlichen Detektor für die Registrierung der biologischen Dosis thermischer und intermediärer Neutronen und aus einem im wesentlichen nur für schnelle Neutronen empfindlichen Detektor für die Registrierung der biologischen Dosis schneller Neutronen besteht, wobei für den Detektor schneller Neutronen die Fluenzempfindlichkeit, definiert als Meßsignal je Einheit der Neutronenfluenz, im Energiebereich der Neutronen von 10keV bis 15MeV mindestens um einen Faktor 10 zunimmt.
2. Personendosimeter nach Punkt 1, gekennzeichnet dadurch, daß als Detektor für schnelle Neutronen eine Silizium-Diode mit großer Basisdicke und als Gamma-Detektor ein MOS- bzw. MIS-Feldeffekttransistor verwendet wird und daß beide Detektoren in einer gemeinsamen Dosimeterkassette untergebracht und/oder auf einem gemeinsamen Silizium-Block angeordnet sind.
3. Personendosimeter nach Punkt 1, gekennzeichnet dadurch, daß als Detektor für schnelle Neutronen eine Silizium-Diode mit großer Basisdicke und als Gamma-Detektor ein Thermolumineszenz-Detektor mit geringer Empfindlichkeit für thermische Neutronen verwendet wird.

## Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein Personendosimeter zur Messung der durch Neutronenstrahlung im menschlichen Körper hervorgerufenen biologischen Dosis, die ein Maß für eine akute somatische Schädigung des Körpers darstellt. Das Personendosimeter soll insbesondere zur Messung derjenigen biologischen Dosis, die untertaktischen Bedingungen durch die Neutronen einer Kernwaffendetonation im menschlichen Körper hervorgerufen wird, dienen. Der ausgedehnte Energiebereich der Neutronenstrahlung einer Kernwaffendetonation, der in Abhängigkeit vom Typ der Kernwaffendetonation, vom Abstand zur Kernwaffendetonation und in Abhängigkeit von Material und Dicke evtl. wirksamer Abschirmungen starken Veränderungen unterworfen ist, erschwert die Dosimetrie der Neutronen von Kernwaffendetonationen. Bei der Einwirkung von Neutronen auf den menschlichen Körper ist neben der direkten Schädigung des Gewebes durch die Neutronen außerdem die durch Neutroneneinfang entstehende sekundäre Gammastrahlung zu berücksichtigen, die ebenfalls im Körper schädigend wirkt.

## Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Für die Messung von Neutronen-Personendosen sind verschiedene Neutronendosimeter bekannt. So werden beispielsweise in Neutronen-Havariedosimetern Aktivierungsdetektoren (Resonanz- und/oder Schwellwertaktivierungssonden), Festkörperspurdetektoren (mit und/oder ohne Spaltmaterialekonverter) oder Kernspurfilme verwendet. Als wesentlicher Nachteil dieser Dosimeter muß das Auswerteverfahren angesehen werden. Festkörperspurdetektoren sind erst nach einem chemischen Ätzvorgang in heißer Lauge, Filme erst nach der Entwicklung auswertbar. Dabei stellt die Auswertung eine teils visuelle Spurzählung dar. Ein weiterer Nachteil dieser Detektoren ist  $c^2$ : Proportionalität ihrer Anzeige zur Neutronenfluenz und nicht zur biologischen Dosis. Aus dem Meßeffekt der genannten Detektoren wird die Neutronenfluenz, bei Verwendung mehrerer verschiedener Resonanz- und Schwellwertaktivierungsdetektoren das Neutronenspektrum bestimmt. Aus diesen Angaben wird durch Verwendung geeigneter Dosis-Fluenz-Faktoren die biologische Dosis durch Multiplikation bzw. Summation über verschiedene Energiebereiche berechnet. Unvollständige Kenntnis des Neutronenspektrums hat zwangsläufig Fehler bei der Dosisbestimmung zur Folge.

Bekannt als Neutronendosimeter sind weiterhin spezielle Siliziumdioden, bei denen die Änderung der Flussspannung der Neutronendosis schneller Neutronen proportional ist.

Nachteilig sowohl bei Siliziumdioden als auch bei Kernspurfilmen und Festkörperspurdetektoren ist die Tatsache, daß diese Detektoren nur für schnelle Neutronen empfindlich sind.

Thermische und insbesondere intermediäre Neutronen, die einen deutlichen Beitrag zur biologischen Dosis liefern, werden von Ihnen nicht registriert, so daß je nach dem Anteil z.B. intermediärer Neutronen am Neutronenspektrum Fehler bei der Dosisbestimmung die Folge sind.

Andere Neutronendosimeter nutzen die Tatsache aus, daß eine Anzahl Substanzen hohe Wirkungsquerschnitte für thermische Neutronen besitzen, z.B.  $^{6}Li$ ,  $^{10}B$ , Ag, seltene Erden, Cd. Unter Verwendung dieser Stoffe lassen sich einfach auswertbare Dosimeter, z.B. Thermolumineszenz- oder Radiophotolumineszenzdosimeter herstellen, die eine hohe Empfindlichkeit für thermische Neutronen besitzen.

Da thermische Neutronen nur zu einem geringen Teil im Energiespektrum der Neutronen einer Kernwaffendetonation enthalten sind und auch nur einen geringen Beitrag zur biologischen Dosis im Verhältnis zu schnellen Neutronen liefern, ist ein für thermische Neutronen empfindliches Dosimeter nur bedingt für die praktische Dosimetrie geeignet. Etwas verbessert wird die Anwendbarkeit dieser Dosimeter durch Verwendung als Albedodosimeter. Ein Albedodosimeter nutzt die streuende und insbesondere die moderierende Wirkung des Körpers des Dosimeterträgers aus, durch die auch bei schnellen Neutronen ein geringer Teil thermische Streuneutronen entstehen, die das Albedodosimeter anregen. Nachteilig ist auch hier eine starke Abhängigkeit des Meßeffekts vom einfallenden Neutronen-Energiespektrum.

### Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist es, ein robustes und zuverlässiges Personendosimeter zu schaffen, das in einem möglichst einfachen und gleichzeitig robusten und zuverlässigen Gerät ausgewertet wird. Darüber hinaus besteht die Forderung nach einem möglichst kleinen Meßfehler unter den verschiedensten Bestrahlungsbedingungen.

### Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Neutronen-Personendosimeter zu schaffen, das unter feldmäßigen Bedingungen ausgewertet werden kann und das die durch die Neutronenstrahlung einer Kernwaffendetonation hervorgerufene biologische Dosis unabhängig vom Energiespektrum der Neutronen anzeigt.

Die Aufgabe wird mit einem Personendosimeter zur Messung der durch Neutronen im menschlichen Körper hervorgerufenen biologischen Dosis, zur Erzielung einer geringen Abhängigkeit der Empfindlichkeit von der Neutronenergie für die Messung der biologischen Neutronendosis in einem ausgedehnten Energiebereich, dadurch gelöst, daß erfindungsgemäß ein Kombinationsdosimeter verwendet wird, das an der Körperoberfläche getragen wird, aus einem im wesentlichen nur für Gammastrahlung empfindlichen und aus einem nur für schnelle Neutronen empfindlichen Detektor besteht. Die Fluenzempfindlichkeit des neutronenempfindlichen Detektors, definiert als Meßsignal je Einheit der Neutronenfluenz muß im Energiebereich der Neutronen von 0,01 MeV bis 15 MeV mindestens um einen Faktor 10 zunehmen. Bei der Auswertung des Kombinationsdosimeters wird aus den Meßsignalen  $M_\gamma$  des gammaempfindlichen und  $M_n$  des neutronenempfindlichen Detektors ein der biologischen Dosis proportionaler Meßwert  $M = a_\gamma \cdot M_\gamma + a_n \cdot M_n$  bestimmt, wobei  $a_\gamma$  und  $a_n$  Gewichtsfaktoren sind, deren Werte durch Kalibrierung mit Neutronen unterschiedlicher Energie ermittelt werden.

Als für schnelle Neutronen empfindlicher Detektor ist eine Siliziumdiode mit großer Basisbreite geeignet, bei der die der Neutronendosis proportionale Änderung der Flussspannung gemessen wird. Als gammaempfindlicher Detektor ist eine Halbleiterstruktur wie z.B. ein MOS- bzw. MIS-Feldeffekttransistor geeignet, dessen Schwellspannungsänderung der Gammadosis proportional ist. Beide Halbleiterstrukturen können zur Bildung des Kombinationsdosimeters in einem gemeinsamen Gehäuse und/oder auf einem gemeinsamen Siliziumblock angeordnet sein.

Als gammaempfindlicher Detektor ist auch ein Thermolumineszenz- oder Radiophotolumineszenz-Dosimeter geeignet, das eine geringe Empfindlichkeit gegen thermische Neutronen aufweist, indem es nur geringste Mengen von  $^6\text{Li}$ ,  $^{10}\text{B}$ ,  $\text{Cd}$ ,  $\text{Ag}$  oder seltene Erden enthält. Zur Bildung des Kombinationsdosimeters kann der Thermolumineszenz- oder Radiophotolumineszenzdetektor mit einer Siliziumdiode mit großer Basisbreite in einem gemeinsamen Gehäuse angeordnet sein.

Zur Erläuterung und Beschreibung der Vorteile der erfindungsgemäß Lösung dient folgender Sachverhalt:

Es wurde gefunden, daß die biologische Dosis von Neutronen im Energiegebiet der thermischen und intermediären Neutronen zu ca. 90% von der sekundären  $\gamma$ -Einfangstrahlung hervorgerufen wird, die bei der Wechselwirkung der Neutronen mit dem Gewebe des menschlichen Körpers entsteht. Die sekundäre  $\gamma$ -Einfangstrahlung tritt auch an der Körperoberfläche auf und kann dort von einem nur  $\gamma$ -empfindlichen Dosimeter registriert werden. Die biologische Dosis schneller Neutronen wird dagegen nur zu einem geringen Teil von der sekundären Gammastrahlung hervorgerufen. Sie muß deshalb von einem für schnelle Neutronen empfindlichen Detektor registriert werden. Wie Untersuchungen ergeben haben, ist es für eine Messung der biologischen Dosis, die unabhängig von der Energie der Neutronen durchgeführt werden soll, notwendig, daß der Energiegang der Neutronenempfindlichkeit des Detektors für schnelle Neutronen dem Energiegang der Natriumkerma in Gewebe gleich ist. Weiter haben die Untersuchungen ergeben, daß die Meßgenauigkeit für die Dosimetrie von Kernwaffendetonationen-Neutronen noch ausreichend ist, wenn die Empfindlichkeit des Detektors für schnelle Neutronen im Energiebereich von 0,01 MeV bis 15 MeV um einen Faktor 10 mit der Energie zunimmt.

Durch die Verwendung eines gammaempfindlichen Detektors für die Registrierung der biologischen Dosis thermischer und intermediärer Neutronen und eines für schnelle Neutronen empfindlichen Detektors für die Registrierung der biologischen Dosis schneller Neutronen wird eine gute Anpassung des Energieganges der Detektorempfindlichkeit an den Energiegang der biologischen Dosis erreicht, die die Voraussetzung für eine von der Energieverteilung der Neutronen unabhängige Dosisbestimmung und damit für geringe Meßfehler ist.

Dies ist ein bedeutender Vorteil des Kombinationsdosimeters nach der Erfindung gegenüber anderen für die Neutronendosmetrie verwendeten Detektoren.

Eine optimale Anpassung der Energiegänge des gammaempfindlichen und des neutronenempfindlichen Detektors an den der biologischen Dosis kann durch passende Wahl der Gewichtsfaktoren  $a_n$  und  $a_\gamma$  erreicht werden, die für die jeweils verwendete der möglichen Kombinationen durch Messung bei verschiedenen Neutronenenergien durchgeführt werden kann.

Die Verwendung zweier Detektoren im Neutronendosimeter nach der Erfindung hat darüber hinaus den Vorteil, daß prinzipiell die getrennte Berücksichtigung des für die sekundäre  $\gamma$ -Strahlung einerseits und für schnelle Neutronen andererseits unterschiedliche biologischen Fadings möglich ist.

Ein weiterer Vorteil der Lösung nach der Erfindung besteht in der Möglichkeit, das Kombinationsdosimeter auch zur Bestimmung der gesamten biologischen Dosis von Neutronen und Gammastrahlung gemischter Felder, wie sie z.B. die Sofortkernstrahlung von Kernwaffendetonationen darstellen, zu verwenden. Für diesen Fall ist vom gammaempfindlichen Teil des Kombinationsdosimeters zusätzlich zu fordern, daß seine Gamma-Dosisempfindlichkeit unabhängig von der Quantenenergie sein muß.

### Ausführungsbeispiel

Eine besonders günstige Ausführungsform des Kombinationsdosimeters stellt eine Siliziumdiode mit großer Basisbreite in Verbindung mit einem MOS- oder MIS-Feldeffektortransistor dar. Beide Halbleiterstrukturen können gegebenenfalls auf einem gemeinsamen Siliziumblock angeordnet sein. Besonders geeignet ist diese Ausführungsform wegen des einfachen Auswerteverfahrens, das für beide Detektoren in einer einfachen Spannungsmessung besteht. Vorteilhaft ist hierbei die Möglichkeit, die Gewichtsfaktoren der Meßwerte durch passende Wahl des Spannungsbereiches bzw. durch geeignete Spannungsteller im Auswertegerät zu realisieren, so daß die Anzeige des Auswertegerätes direkt in Einheiten der biologischen Dosis kalibriert werden kann.

In einer anderen Ausführungsform wird eine Siliziumdiode mit großer Basisbreite als Detektor für schnelle Neutronen mit einem Thermolumineszenz- oder Radiophotolumineszenz-Detektor als Gammendetektor kombiniert. Dabei werden beide Detektoren in einem gemeinsamen Gehäuse untergebracht, das mit geeigneten Mitteln versehen ist, um es mit dem Auswertegerät in den notwendigen optischen und elektrischen Kontakt zu bringen.